

## 解答または解答例及び出題意図

年度	2025 年度
研究科	脳科学研究科
専攻・コース等	脳科学専攻
試験科目	専門科目

**1**

(1)  
 帰無仮説  $H_0$ : 表が出る確率  $\pi = 0.5$ 。  
 100 回のコイントスで表が 55 回観測されたので、二項分布  $\text{Bin}(100, 0.5)$  を用いる。  
 両側検定では  $p = P(X \leq 45) + P(X \geq 55)$ 。参考資料より  $P(X \leq 45) = 0.184101$ 。  
 したがって  $p \approx 2 \times 0.184101 \approx 0.368$ 。  
 通常の有意水準 5% では帰無仮説は棄却できない。

(2)  
 100 回の結果を見てから追加試行を決める行為は optional stopping の問題を含む。  
 途中の結果を見て試行を継続すると、帰無仮説が正しくても有意な結果が得られる確率が増えるため、通常の p 値の解釈が成立しない。事前に試行回数を固定するか、逐次検定などの補正が必要となる。そのため、このような論理展開は問題である。

(3)  
 1000 回中 550 回表 が出たので、参考資料 2 のベータ分布 ( $\alpha = 551, \beta = 451$ ) の 2.5% 点・97.5% 点を参照すると、95% 信頼区間は  $[0.519, 0.581]$  となる。

(4)  
 統計的には表が出る確率が 0.5 と異なる可能性を示す結果であるが、optional stopping によって低い p 値を検出している過程が問題である。またそもそも、コインの表裏の物理的な偏りの有無を検証しておらず、念力があると主張することはできない。

**1** の出題意図  
 二項分布による仮説検定、p 値の解釈、信頼区間の計算を理解しているかを確認するとともに、途中でデータ収集計画を変更することによる統計的問題 (optional stopping) を理解しているかを確認することを意図している。

**2**

原因 1 (輻輳困難問題) → イラスト c  
 HMD では輻輳と焦点調節が一致しない輻輳-調節矛盾が生じ、視覚疲労や不快感を引き起こす。

原因 2 (視覚刺激による移動感覚) → イラスト a  
 視覚によって自己運動感 (vection) が生じる一方で、前庭感覚は身体が静止していると伝えるため、感覚間の不一致が VR 酔いを生じさせる。

原因 3 (不適切な瞳孔間距離) → イラスト b

HMD のレンズ間隔が使用者の IPD と一致しないと、両眼視差が不自然になり視覚的不快感や酔いを引き起こす。

## 2 の出題意図

VR 酔いの主要因を感覚間の不一致という観点から理解しているかを確認する。また、提示された図と知覚メカニズムを対応づけて説明できるかを評価する。

## 3

(1) 解答例 A : EEG、B : MEG、C : NIRS、D : PET、E : fMRI

(2) 解答例として、各方法の特徴を表にまとめたものを示す (文章で解答されていた場合も、この表の観点から採点した)。

	長所	短所	向いている研究・課題
EEG	被験者の姿勢が比較的自由 多少の姿勢変化や体動は許される 非侵襲的で静音である 神経活動を直接反映 安価で可搬性が高い 事象関連電位 (ERP) が計測可能	環境および体内 (筋電・心電・眼球運動・瞬目など) からのノイズがのりやすい 信号の発生源の定位が困難 (空間分解能が低い)	知覚・注意・意思決定の時間過程、発達・臨床など
fMRI	非侵襲的である 脳の深部の活動の変化を検討できる 標準的解析手法が確立している	装置内で、姿勢変化や体動が許されない 被験者は閉所・騒音下での測定を強いられる 神経活動の間接指標である BOLD シグナルの測定である	認知機能の局在、ネットワーク解析など
MEG	非侵襲的である 脳の深部の活動について推定できる 神経活動を直接反映	装置内で、姿勢変化や体動が許されない。 磁気シールドが必要。磁気を発生する装置と共に使いにくい。 ダイポール推定はあくまでいくつかの条件下での推定である。	高精度な時間×空間解析、皮質活動の記録など
NIRS	被験者の姿勢が比較的自由に多少の姿勢変化や体動は許容される。 非侵襲的である 静音で可搬性あり	脳の深部の活動の変化については、検出しにくい データの定量性が低い 被験者の個人差が大きい 神経活動の間接指標 (血流量変化) の測定である	教育・発達研究、自然場面での課題など
PET	脳内における特定の物質 (代謝・神経伝達物質など) の局在について、検討できる	ラジオアイソトープを用いるため一定の被曝リスクがある 薬剤の調整の手間がかかり、また薬剤の鮮度が重要となる 被験者は狭い閉所での測定を強いられる 神経活動の間接指標である RI 糖の分布をみる	受容体研究、疾患の病態評価など

### (3) 解答例

**ブロックデザイン**では、同一条件の刺激や課題を一定時間連続して提示し（例：20秒間のヒトの顔提示刺激提示と20秒間の風景提示刺激提示を交互に繰り返すなど）、各条件の平均的な脳活動を比較する。この方法は信号対雑音比（S/N比）が高く、統計的検出力に優れるため、比較的強く持続的な脳活動を引き起こす課題に適している。例えば、視覚野のカテゴリ選択性（顔 vs. 物体）、運動課題、持続的注意課題など、安定した状態を作りやすい実験に向いている。一方で、個々の試行ごとの差異や一過性の認知過程による違いを分離することは難しい。

これに対し、**事象関連デザイン**は、単発の刺激提示や試行を時間的に分離して提示し、それぞれの事象に対する脳応答を推定するデザインである。fMRIでは事象ごとの血流応答をモデル化し、EEGでは事象関連電位（ERP）に注目した解析を行う。この方法は、正答試行と誤答試行の比較、記憶想起の成功・失敗の比較、予期違反などの一過性かつ試行ごとに変動する認知過程の解析に適している。また、試行間の揺らぎや反応時間との相関なども検討できる利点がある。ただし、ブロックデザインに比べて信号強度は小さく、設計や解析が複雑になる。

以上のように、持続的状態の比較や高い検出力を重視する場合にはブロックデザインが、試行単位の認知過程や条件間の微細な差異を検討する場合には事象関連デザインが適している。いずれにせよ研究目的（質問や仮説）に応じて両者を適切に選択、あるいは組み合わせる用いることが重要である。

### 3 の出題意図

近年のヒトの脳機能イメージング研究においては、主に出題した A~E の5種類の方法が用いられている。それぞれの方法ごとに検出する信号の種類や必要な拘束の程度などの特徴が異なるので、研究者は研究の目的に応じて、最も相応しい方法を選ぶ必要がある。また、先行研究のデータを正しく読み取る上でも、それぞれの方法の長・短所についての知識は重要である。加えて、実際の実験パラダイムをデザインする上でも、ブロックデザインと事象関連デザインの違いを理解し適切に選択する必要がある。以上の観点から、脳機能イメージング手法についての一般的な知識を問う出題を行った。